

Эффективность комбинированного ферментативного гидролиза для получения высокобелкового гидролизата из гороха

| | | | |
|------------------------|--------------|-------------------------|------------------------|
| Павел С. Бикбулатов | ¹ | bikbulatovpavel@mail.ru | ID 0000-0002-1285-4797 |
| Наталья А. Панкратьева | ¹ | nata-pankratieva@ya.ru | ID 0000-0002-9831-3635 |
| Ольга В. Чугунова | ¹ | chugun.ova@ya.ru | ID 0000-0002-7039-4047 |
| Людмила А. Донскова | ¹ | cafedra@list.ru | ID 0000-0002-8396-0431 |

1 Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия

Аннотация. Исследована эффективность ферментативных и комбинированных методов выделения и модификации растительного белка из гороха для получения высокобелкового гидролизата с улучшенными функциональными свойствами. Цель работы состояла в сравнительной оценке различных схем гидролиза и обосновании оптимального технологического решения. Объектом исследования служили гидролизаты белка гороха, полученные без обработки, с применением протеазы и лактата кальция, а также при последовательном использовании амилазы и протеазы. Установлено, что контрольный образец характеризуется низкой массовой долей белка 27.5% и отсутствием выраженного гидролиза. Использование протеазы в сочетании с лактатом кальция обеспечивает повышение содержания белка до 55.8% и степень гидролиза 9.77%, что связано с расщеплением глобулярных белков и улучшением их растворимости. Наибольший эффект достигнут при комбинированном ферментативном гидролизе с предварительным действием амилазы, при котором массовая доля белка возрастает до 70.5%, содержание аминного азота достигает 698.66 мг на 100 г, а степень гидролиза составляет 13.41%. Снижение выхода сухого остатка с 28.5 до 16.8 г подтверждает эффективное удаление небелковых компонентов, прежде всего крахмала и клетчатки. Показано, что применение амилазы снижает вязкость системы и повышает доступность белкового субстрата для протеазы, а лактат кальция интенсифицирует коагуляцию и отделение белковой фазы. Сделан вывод о целесообразности использования комбинированного ферментативного гидролиза для получения высокобелковых растительных ингредиентов с повышенной биодоступностью, которые рекомендованы для функциональных и специализированных пищевых продуктов.

Ключевые слова: растительный белок, горох, ферментативный гидролиз, протеаза, амилаза, лактат кальция, выделение белка, гидролизат белка, степень гидролиза.

Efficiency of combined enzymatic hydrolysis for producing high-protein hydrolysate from pea

| | | | |
|------------------------|--------------|-------------------------|------------------------|
| Pavel S. Bikbulatov | ¹ | bikbulatovpavel@mail.ru | ID 0000-0002-1285-4797 |
| Natalia A. Pankratyeva | ¹ | nata-pankratieva@ya.ru | ID 0000-0002-9831-3635 |
| Olga V. Chugunova | ¹ | chugun.ova@ya.ru | ID 0000-0002-7039-4047 |
| Lyudmila A. Donskova | ¹ | cafedra@list.ru | ID 0000-0002-8396-0431 |

1 Ural State University of Economics, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia

Abstract. The study evaluates the efficiency of enzymatic and combined approaches for the extraction and modification of pea protein aimed at producing a high protein hydrolysate with improved functional properties. The objective was to compare different hydrolysis schemes and to justify an optimal technological solution. Pea protein hydrolysates obtained without treatment, with protease and calcium lactate, and with sequential application of amylase and protease were investigated. The control sample showed a low protein content of 27.5% and no significant hydrolysis. The use of protease combined with calcium lactate increased the protein content to 55.8% with a degree of hydrolysis of 9.77%, which is attributed to the breakdown of globular proteins and improved solubility. The highest efficiency was achieved using combined enzymatic hydrolysis with preliminary amylase treatment, resulting in a protein content of 70.5%, an amino nitrogen level of 698.66 mg per 100 g, and a degree of hydrolysis of 13.41%. The reduction in dry matter yield from 28.5 to 16.8 g confirms effective removal of non protein components, primarily starch and dietary fiber. It is shown that amylase decreases system viscosity and increases protein availability for protease action, while calcium lactate enhances protein coagulation and phase separation. The results demonstrate the feasibility of combined enzymatic hydrolysis for producing high protein plant ingredients with improved bioavailability recommended for functional and specialized food products.

Keywords: vegetable protein, pea, enzymatic hydrolysis, protease, amylase, calcium lactate, protein isolation, protein hydrolysate, degree of hydrolysis.

Для цитирования

Бикбулатов П.С., Панкратьева Н.А., Чугунова О.В.,
Донскова Л.А. Эффективность комбинированного ферментативного гидролиза для получения высокобелкового гидролизата из гороха // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 4. С. 86–92. doi:10.20914/2310-1202-2025-4-86-92

For citation

Bikbulatov P.S., Pankratyeva N.A., Chugunova O.V., Donskova L.A. Efficiency of combined enzymatic hydrolysis for producing high-protein hydrolysate from pea. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 4. pp. 86–92. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-4-86-92

Введение

Несмотря на то, что растения могут являться источником белка, существует ряд факторов, препятствующих широкому их распространению в качестве альтернативы животным белкам. Так, общее содержание белка в растительных продуктах намного ниже, в сравнении с животными. Данный фактор приводит к необходимости потребления либо большого количества продуктов растительного происхождения, с целью достижения необходимого уровня белка в рационе, либо выделять и концентрировать растительный белок, что является технологически достаточно трудоемко. При этом сложность выделения белка из продуктов растительного происхождения связана с тем фактом, что полученный белок имеет ограниченность в незаменимых аминокислотах и имеет более низкую усвояемость ввиду наличия антипитательных факторов, что говорит о необходимости поиска путей подавления их влияния [1–3]. Так, например, зерновые культуры как овес, риса, кукуруза и пшеница, ограничены в лизине; фасоль и копченый желтый горох ограничены в содержании триптофана. При этом, чтобы потребить 10 г. эквивалентного качественного белка, потребуется 32,2 г жареной куриной грудки, 79,5 г варенных яиц, 63 г. нутовой муки, 187 г. очищенного ячменя и 113 г оптимизированной смеси нута и ячменя. Такое количество продукта приведет к потреблению калорий в размере 53 ккал для курицы, 123 ккал для яйца, 244 ккал для нута, 636 ккал для ячменя и 401 ккал для оптимизированной смеси [4–6]. Данный фактор указывает на то, что потребление эквивалентного количества качественного белка требует потребления большего количества растительного белка. Комбинация продуктов различного происхождения может быть способом снижения общего количества калорий в рационе.

Ряд исследований показали, что растительные белки эффективны для снижения веса и его поддержания на заданному уровне [3, 4]. Данный фактор обуславливается низкой энергетической ценностью растительных продуктов и повышенным чувством насыщения после потребления. Преимущества включения данных продуктов в рацион, также обуславливаются снижением риска развития диабета, поддержкой здоровья при ишемической болезни и снижением общего артериального давления [2–4].

Ферментативные методы и использование солей кальция, могут существенно влиять на структуру и свойства белков, что позволяет улучшать их технологические качества [5, 6].

Изучение воздействия протеаз и солей кальция (в частности, лактата кальция) на растительные белки является ключевым для разработки новых подходов к их модификации и применения. В ранее рассмотренных работах было показано, что протеазы могут эффективно расщеплять белковые молекулы, изменяя их функциональные характеристики, например, улучшая пеногенерирующие свойства [2, 7, 8]. В то же время ряд исследований указывает о положительном влиянии солей кальция на коагуляцию и осаждение белков в растительных экстрактах [10, 11].

В исследовании представлены результаты исследований, направленные на изучение влияния ферментных препаратов – протеазы, амилазы, целлюлазы и вспомогательного компонента – лактата кальция на выделение белка из гороха и подсолнечного шрота в результате ферментативного гидролиза. Применение данного ферментного комплекса (протеаза + амилаза + целлюлаза) в среде, активированной лактатом кальция, позволяет проводить многостадийный гидролиз сырья с высокой эффективностью. Это комплексное решение направлено на максимальное извлечение и модификацию целевых белковых компонентов при одновременном удалении основных балластных веществ. В ходе исследований выдвигаются гипотезы о том, что:

— протеаза, оказывает влияние на структуру белка и его растворимость, что должно отразиться на массе сухого остатка. Предполагается, что протеаза будет способствовать расщеплению белковых молекул, что может привести к уменьшению массы сухого остатка по сравнению с контрольным образцом или с образцами, где протеаза не применялась;

— лактат кальция, оказывает влияние на коагуляцию белков, что может оказать влияние на массу сухого остатка. Так, лактат кальция может способствовать образованию более плотного осадка, что позволит увеличить массу сухого остатка по сравнению с образцами, где лактат кальция не применялся;

— комбинированное воздействие протеазы и лактата кальция может привести к более выраженным изменениям, нежели при использовании этих добавок по отдельности. Ожидается, что комбинированное воздействие может привести к изменению как массы, так и структуры сухого остатка, а также к изменению свойств жидкой фракции;

— амилаза – способна оказать влияние на разрушение основного полисахарида в зернах гороха – крахмал. Использование данного фермента в общей системе гидролиза, позволит

существенно снизить содержание углеводов, расщепляя их до более простых сахаров – мальтозу и глюкозу. Изменение углеводного состава позволит достичь наиболее чистый конечный продукт, обладающий повышенным содержания белка;

— целлулаза, позволяет направленно разрушать основной углеводный компонент подсолнечного шрота – клетчатку, состоящая в значительной степени из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Снижение углеводов в составе подсолнечного шрота в свою очередь позволит повысить количество высвобождаемого белка и получения наиболее чистого конечного продукта.

Стоит отметить, что данные компоненты относятся к категории безопасных и экологичных добавок, разрешённых для использования в пищевой промышленности [9, 10]. Их химическая природа определяет разные, однако в общей структуре, взаимодополняющие механизмы действия в технологическом процессе выделения растительного белка из первичного сырья. «Протозим Н» действует как биологический катализатор, модифицируя молекулярную структуру белков, в то время как амилаза, являясь ферментом, содержащимся в ЖКТ и целлулаза, продуцируемая из грибов, позволяет существенно снизить углеводную составляющую продукта, а лактат кальция функционирует как физико-химический модификатор [11, 12].

Добавление протеазы в процессе получения гидролизата белка из зерен гороха оказывает комплексное воздействие на процесс выделения, существенно влияя на конечный общий выход продукта. Так, ферментативный гидролиз с применением протеазы «Протозим Н» способствует [12]:

— разрушению сложной белковой матрицы зерен гороха, расщепляя глобулярные белки (легумин и вицилин) на более мелкие пептидные фрагменты. Данное разрушение приводит к значительному повышению растворимости белковых компонентов в водной среде, что облегчает их переход в экстракт при стандартных условиях экстракции (рН 7–8, температура 50–55 °C);

— снижению общей молекулярной массы белков, что минимизирует их агрегацию и улучшает фильтруемость раствора. В результате доля белка, остающегося в нерастворимом осадке, сокращается, а общий выход увеличивается на 15–25% по сравнению с методами безферментативной экстракции;

— способствует разрушению антипептидных соединений (ингибиторы трипсина), способные в нативном состоянии препятствовать полноценной экстракции белка.

Использование амилазы оказывает существенное влияние на процесс получения гидролизата белка гороха, являясь косвенным, но при этом крайне важным компонентом для повышения эффективности и качества конечного продукта. Таким образом, внесение амилазы в общей методике получения гидролизата белка гороха позволяет достигнуть:

Расщепление крахмала, значительно содержащегося в зернах гороха (40–60%), до мальтозы и глюкозы, что в свою очередь способствует резкому снижению вязкости раствора, что упрощает дальнейшую экстракцию белка и повышению его концентрации в конечном продукте;

Улучшение доступа протеазы к субстрату, благодаря снижению вязкости, создаваемой крахмалом, «экранирующей» необходимые белковые молекулы и снижающий возможность их связывания с протеазами;

Стандартизации процесса, благодаря сниженному содержанию крахмала, что позволяет легче контролировать и стандартизировать условия проведения гидролиза (рН, температура, концентрация фермента);

Улучшения органолептических показателей, благодаря образованию сахаров, снижающих горечь, а также не позволяющих первоначальным молекулам крахмала взаимодействовать с белками / пептидами, способных формировать нежелательные оттенки вкуса.

Внесение лактата кальция в общем методе получения гидролизата белка гороха, оказывается ряд ключевых воздействий на технологический процесс и качество конечного продукта. Так, добавление лактата кальция в общей системе получения гидролизата белка, данный компонент выполняет функцию:

Эффективного коагулянта, способствуя осаждению белковых молекул в их изоэлектрической точке (рН 4,5–5,5). Данный процесс происходит благодаря взаимодействию ионов кальция с отрицательно заряженными карбоксильными группами (-COOH) белковых молекул, что приводит к снижению их растворимости и образованию плотного осадка;

Повышения эффективности выделения белка, поскольку выход продукта увеличивается на 15–20% по сравнению с методами, не использующими коагулянты. При этом образуется осадок с улучшенными структурными характеристиками, что облегчает его последующее отделение центрифугированием или фильтрацией;

Снижение первоначального растительного вкуса в полученном гидролизате белка без формирования дополнительного привкуса, в сравнении с другими солями кальция (например, хлорида кальция);

Способствование стабилизации белковой структуры, благодаря улучшению функциональные свойства как: водоудерживающая способность и гелеобразование [11, 12].

Материалы и методы

Объектом исследований были гидролизаты белка гороха – ГБП 1, ГБП 2, ГБП 3. Сырьем для получения белковых гидролизатов является сухой цельный горох сортов «Самариус» (Свердловская область, урожая 2024 г.). Общее содержание белка в таком горохе 26–28%, отличается высоким содержанием незаменимых аминокислот, включая лизин 1,70–1,85 г/100 г и метионин 0,27–0,32 г/100 г.

Белковые гидроизоляты были получены при различных режимах ферментативного гидролиза по следующей методике: очищенный от примесей и промытый горох измельчали до размера частиц не более 300 мкм после чего дисперсировали в воде в соотношении 1:10 для получения основной суспензии.

Гидролиз белка проводили параллельно тремя методами с целью определения наиболее эффективного из них:

— ГБП 1 – водную суспензию выдерживали в течение 2 часов при 25 °C, после чего центрифугировали при 10000× g, 5 мин, 20° и фильтровали с последующей сушкой сухого остатка;

— ГБП 2 – водную суспензию доводили раствором 1M NaOH до pH 8,0, вносили фосфатный буфер и нагревали до t 50–55 °C, после чего вносили 0,5% лактата кальция от массы суспензии и 1,5% протеазы от массы измельченного гороха. Полученную суспензию выдерживали в течение 1,5 часов, при постоянной t, после чего центрифугировали при 10000× g, 5 мин при 20° и фильтровали t с последующей сушкой сухого остатка;

— ГБП3 – водную суспензию доводили раствором 10% лимонной к-ты до pH 4,2–5,6, после чего нагревали до 50–55 °C, вносили 1% целлюлазы и выдерживали в течение 50–60 мин при постоянном перемешивании. Полученную суспензию центрифугировали, после чего твердую фазу отделяли с последующей сушкой и повторно дисперсировали водой. Вторичную водную суспензию доводили раствором 1M NaOH до pH 8,0. Далее в ГБП 2 и ГБП 3 вносили фосфатный буфер и нагревали до t 50–55 °C, после чего вносили 0,5% лактата кальция от массы суспензии и 1,5% протеазы от массы сухого остатка первичного гидролиза. Полученную суспензию выдерживали в течение 1,5 часов, при постоянной t и перемешивании, после чего центрифугировали при 10000× g, 5 мин, 20° и фильтровали с последующей сушкой сухого остатка.

Разработка параметров контролируемого ферментативного гидролиза с применением комбинации протеазы, целлюлазы и лактата кальция позволит получить гидролизат белка гороха с заданной степенью гидролиза (СГ) и определенными функционально-технологическими свойствами (растворимость, эмульгирующая и пенообразующая способность), а также высокой биодоступностью и сниженной антигенной активностью. Схема выделения белка из семян гороха представлена на рисунке 1.

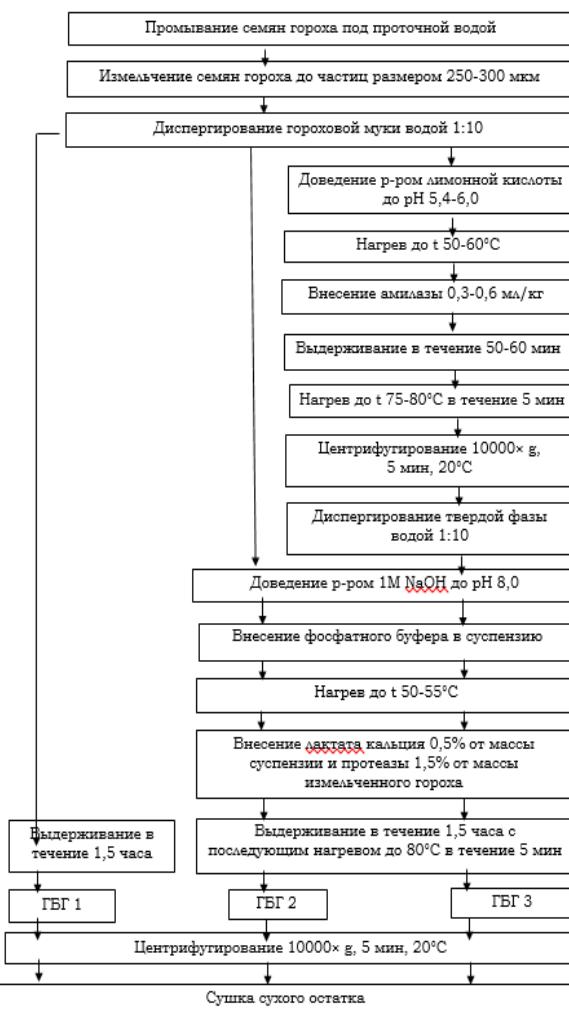


Рисунок 1. Схема получения гидролизата белка гороха
Figure 1. Scheme for obtaining pea protein hydrolysate

Первым этапом получения гидролизата белка гороха является промывание зерен гороха проточной водой и измельчение до частиц размером 250–300 мкм, с последующим их диспергированием в воде в соотношении 1:10 для получения основной суспензии. После чего проводили 3 параллельных варианта гидролиза белка:

В первом варианте (ГБГ1) водную суспензию выдерживают в течение 2 часов при 25 °C, после чего центрифугируют при 10000× g, 5 мин, 20° и фильтруют с последующей сушкой сухого остатка;

Во втором варианте водную суспензию доводят раствором 1М NaOH до pH 8,0, вносят фосфатный буфер и нагревают до t 50–55 °C, после чего вносят 0,5% лактата кальция от массы суспензии и 1,5% протеазы от массы измельченных зерен гороха. Полученную суспензию выдерживают в течение 1,5 часов, при постоянной t и помешивании. После чего нагревают 80 °C в течение 5 минут, центрифицируют при 10000 • g, 5 мин, 20° с последующей сушкой сухого остатка;

В третьем варианте (ГБГ3) первичную суспензию доводят раствором 10% лимонной кислоты до pH 5,4–6,0, после чего нагревают до 50–60 °C, вносят амилазу из расчёта 0,3–0,6 мл/кг и выдерживают в течение 50–60 мин при постоянном помешивании. Полученную суспензию нагревают до 75–80 °C в течение 5 минут,

центрифицируют, отделяют твердую фазу и повторно диспергируют водой.

Вторичную водную суспензию доводят раствором 1М NaOH до pH 8,0, вносят фосфатный буфер и нагревают до t 50–55 °C, после чего вносят 0,5% лактата кальция от массы суспензии и 1,5% протеазы от массы сухого остатка первичного гидролиза. Полученную суспензию выдерживают в течение 1,5 часов, при постоянной t и помешивании. После чего нагревают 80 °C в течение 5 минут, центрифицируют при 10000× g, 5 мин, 20° с последующей сушкой сухого остатка.

Результаты и обсуждение

Физико-химические показатели образцов белка гороха, полученного различными способами представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты получения гидролизата белка гороха

Table 1.

Results of obtaining pea protein hydrolysates

| Показатель Indicator | ГБГ 1 | ГБГ 2 | ГБГ 3 |
|--|---------------|----------------|----------------|
| Выход, г Yield, g | 28,5 ± 0,2 | 24,1 ± 0,2 | 16,8 ± 0,2 |
| Массовая доля влаги, % Moisture content, % | 8,2 ± 0,2 | 7,5 ± 0,2 | 5,5 ± 0,2 |
| Массовая доля белка, % Protein content, % | 27,5 ± 0,2 | 55,8 ± 0,2 | 70,5 ± 0,2 |
| Массовая доля аминного азота, мг/100 г Amino nitrogen content, mg/100 g | 134,62 ± 6,73 | 329,41 ± 16,47 | 698,66 ± 34,93 |
| Степень гидролиза, % Degree of hydrolysis, % | - | 9,77 | 13,41 |

Анализ результатов получения гидролизатов белка гороха показал, что применение только протеазы (ГБГ 2) позволило повысить массовую долю белка с 27,5% до 55,8% по сравнению с контролем (ГБГ 1). При этом наибольшая эффективность достигнута при комбинированной обработке амилазой и протеазой (ГБГ 3), где содержание белка достигло 70,5% при степени гидролиза 21,2%. Снижение выхода продукта с 28,5 г до 16,8 г подтверждает эффективное удаление основных небелковых компонентов (крахмала и клетчатки) в процессе ферментативного гидролиза, что доказывает эффективность последовательной ферментативной обработки для получения высокобелкового концентрата из гороха.

Проведённое исследование подтверждает эффективность применения комбинированных ферментативных подходов для выделения и концентрирования белка из растительного сырья, в частности из гороха. Использование протеазы в сочетании с лактатом кальция позволяет увеличить содержание белка в продукте более чем в два раза по сравнению с контрольным образцом, а последовательная обработка амилазой и протеазой обеспечивает максимальное очищение от углеводных компонентов, повышая массовую долю белка до 70,5%.

Ключевыми преимуществами предложенной технологии являются:

- Значительное увеличение выхода белка и степени его гидролиза.
- Удаление антипитательных факторов и балластных веществ (крахмала, клетчатки).
- Улучшение функциональных свойств белка (растворимость, стабильность).
- Безопасность и экологичность применяемых реагентов (ферменты, лактат кальция), разрешённых для использования в пищевой промышленности.

Таким образом, разработанный метод комбинированного ферментативного гидролиза представляет собой перспективное решение для производства высококачественных растительных белковых концентратов и гидролизатов. Эти ингредиенты могут быть использованы в производстве функциональных продуктов питания, спортивного питания, а также в качестве альтернативы животным белкам в условиях растущего спроса на растительные продукты. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию параметров процесса, изучение влияния полученных белков на органолептические свойства конечных продуктов и оценку их биологической ценности *in vivo*.

Литература

- 1 Чугунова О.В., Бикбулатов П.С., Девяткин Д.И. и др. Ресурсный потенциал сортов гороха Свердловской области для получения белковых гидролизатов // Индустрия питания. 2025. Т. 10. № 3. С. 53–61. doi: 10.29141/2500-1922-2025-10-3-6
- 2 Иванчикхина О.В. Значение белка в профилактике и лечении заболеваний // Медицина. Социология. Философия. Прикладные исследования. 2023. № 2. С. 59–62.
- 3 Куликов Д.С., Аксенова Л.М., Самойлова А.М. Функционально-технологические свойства белковых продуктов из зернобобовых культур и их модификация под влиянием различных факторов. Часть 1 // Пищевая промышленность. 2024. № 3. С. 20–25. doi: 10.52653/PPI.2024.3.3.004
- 4 Позняковский В.М. Вызовы и стратегические мегатренды современной нутрициологии // Индустрия питания. 2024. Т. 9. № 2. С. 5–12. doi: 10.29141/2500-1922-2024-9-2-1
- 5 Куликов Д.С., Королев А.А. Функционально-технологические свойства белковых продуктов из зернобобовых культур и их модификация под влиянием различных факторов. Часть 2 // Пищевая промышленность. 2024. № 8. С. 35–44. doi: 10.52653/PPI.2024.8.8.007
- 6 Бикбулатов П.С., Чугунова О.В., Заворожина Н.В. Анализ современного рынка растительных белков и технологических решений их получения // Вестник КрасГАУ. 2025. № 5 (218). С. 244–260. doi: 10.36718/1819-4036-2025-5-244-260
- 7 Matoba T., Hata T. Relationship between bitterness of peptides and their chemical structures // Agricultural and Biological Chemistry. 1972. V. 36. P. 1423–1431.
- 8 Leksrisompong P.P., Miracle R.E., Drake M.A. Characterization of Flavor of Whey Protein Hydrolysates // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010. V. 58. № 10. P. 6318–6327.
- 9 Chatterjee C., Gleddie S., Xiao C.W. Soybean bioactive peptides and their functional properties // Nutrients. 2018. V. 10. № 9. P. 1211. doi: 10.3390/nu10091211
- 10 Куликов Д.С., Королев А.А. Аспекты ферментативной модификации растительных белков // Пищевые системы. 2025. Т. 8. № 1. С. 22–28. doi: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-22-28
- 11 Матишова Д.А., Приходько Д.В., Красноштанова А.А. Получение белковых изолятов на основе муки бобовых // Бутлеровские сообщения. 2025. Т. 81. № 1. С. 114–124. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/25-81-1-114
- 12 Витол И.С. Характеристика продуктов ферментативной модификации семян бобовых культур // Пищевая промышленность. 2024. № 10. С. 73–76. doi: 10.52653/PPI.2024.10.10.014
- 13 Шариков А.Ю., Иванов В.В., Амелякина М.В. Влияние перемешивания на эффективность ферментативного гидролиза высококонцентрированных сред экструдированного крахмала кукурузы // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82. № 3. С. 96–103. doi: 10.20914/2310-1202-2020-3-96-103
- 14 Sareen J., Shi D., Stone A.K. et al. Effect of enzyme hydrolysis on the physicochemical, functional, and nutritional properties of pea and faba bean protein isolates // European Food Research and Technology. 2023. V. 249. № 12. P. 3175–3190. doi: 10.1007/s00217-023-04358-y
- 15 Gharibzahedi S.M.T., Smith B., Altintas Z. Bioactive and health-promoting properties of enzymatic hydrolysates of legume proteins: a review // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2024. V. 64. № 9. P. 2548–2578. doi: 10.1080/10408398.2022.2124399
- 16 García Arteaga V., Leeb E., Liu Y. et al. Enzymatic hydrolysis and fermentation of pea protein isolate and its effects on antigenic proteins, functional properties, and sensory profile // Foods. 2022. V. 11. № 1. P. 118. doi: 10.3390/foods11010118
- 17 Tulbek M.C., Wang Y.L., Hounjet M. Pea—a sustainable vegetable protein crop // Sustainable Protein Sources / Ed. by S.R. Nadathur, J.P.D. Wanasundara, L. Scanlin. 2nd ed. Cambridge: Academic Press, 2024. P. 143–162. doi: 10.1016/B978-0-323-91652-3.00027-7
- 18 Shanthakumar P., Klepacka J., Bains A. et al. The current situation of pea protein and its application in the food industry // Molecules. 2022. V. 27. № 16. P. 5354. doi: 10.3390/molecules27165354
- 19 David Troncoso F., Alberto Sánchez D., Luján Ferreira M. Production of plant proteases and new biotechnological applications: an updated review // ChemistryOpen. 2022. V. 11. № 3. P. e202200017. doi: 10.1002/open.202200017
- 20 Tiruneh A., Ptaszek P., Źmudziński D. et al. Peas (*Pisum sativum* subsp. *arvense* Asch) and Beans (*Vicia faba* var. *minor*) as Source of Quality Plant Proteins // Molecules. 2025. V. 30. № 9. P. 2009. doi: 10.3390/molecules30092009

References

- 1 Chugunova O.V., Bikbulatov P.S., Devyatkin D.I. et al. Resource potential of pea varieties from the Sverdlovsk region for obtaining protein hydrolysates. Food Industry. 2025. vol. 10. no. 3. pp. 53–61. doi: 10.29141/2500-1922-2025-10-3-6 (in Russian)
- 2 Ivanchikhina O.V. The importance of protein in the prevention and treatment of diseases. Medicine. Sociology. Philosophy. Applied Research. 2023. no. 2. pp. 59–62. (in Russian)
- 3 Kulikov D.S., Aksanova L.M., Samoilova A.M. Functional and technological properties of protein products from legumes and their modification under the influence of various factors. Part 1. Food Industry. 2024. no. 3. pp. 20–25. doi: 10.52653/PPI.2024.3.3.004 (in Russian)
- 4 Poznyakovskiy V.M. Challenges and strategic megatrends of modern nutriology. Food Industry. 2024. vol. 9. no. 2. pp. 5–12. doi: 10.29141/2500-1922-2024-9-2-1 (in Russian)
- 5 Kulikov D.S., Korolev A.A. Functional and technological properties of protein products from legumes and their modification under the influence of various factors. Part 2. Food Industry. 2024. no. 8. pp. 35–44. doi: 10.52653/PPI.2024.8.8.007 (in Russian)
- 6 Bikbulatov P.S., Chugunova O.V., Zavorokhina N.V. Analysis of the modern plant protein market and technological solutions for their production. Bulletin of KrasGAU. 2025. no. 5. pp. 244–260. doi: 10.36718/1819-4036-2025-5-244-260 (in Russian)
- 7 Matoba T., Hata T. Relationship between bitterness of peptides and their chemical structures. Agricultural and Biological Chemistry. 1972. vol. 36. no. 8. pp. 1423–1431. doi: 10.1080/00021369.1972.10860458

- 8 Leksrisompong P.P., Miracle R.E., Drake M.A. Characterization of flavor of whey protein hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010. vol. 58. no. 10. pp. 6318–6327. doi: 10.1021/jf9044297
- 9 Chatterjee C., Gleddie S., Xiao C.W. Soybean bioactive peptides and their functional properties. *Nutrients*. 2018. vol. 10. no. 9. p. 1211. doi: 10.3390/nu10091211
- 10 Kulikov D.S., Korolev A.A. Aspects of enzymatic modification of plant proteins. *Food Systems*. 2025. vol. 8. no. 1. pp. 22–28. doi: 10.21323/2618-9771-2025-8-1-22-28 (in Russian)
- 11 Matishova D.A., Prikhodko D.V., Krasnoshtanova A.A. Production of protein isolates based on legume flour. *Butlerov Communications*. 2025. vol. 81. no. 1. pp. 114–124. doi: 10.37952/ROI-jbc-01/25-81-1-114 (in Russian)
- 12 Vitol I.S. Characteristics of products of enzymatic modification of legume seeds. *Food Industry*. 2024. no. 10. pp. 73–76. doi: 10.52653/PPI.2024.10.10.014 (in Russian)
- 13 Sharikov A.Yu., Ivanov V.V., Amelyakina M.V. The effect of stirring on the efficiency of enzymatic hydrolysis of high-concentration media of extruded corn starch. *Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020. vol. 82. no. 3. pp. 96–103. doi: 10.20914/2310-1202-2020-3-96-103 (in Russian)
- 14 Sareen J., Shi D., Stone A.K. et al. Effect of enzyme hydrolysis on the physicochemical, functional, and nutritional properties of pea and faba bean protein isolates. *European Food Research and Technology*. 2023. vol. 249. no. 12. pp. 3175–3190. doi: 10.1007/s00217-023-04358-y
- 15 Gharibzahedi S.M.T., Smith B., Altintas Z. Bioactive and health-promoting properties of enzymatic hydrolysates of legume proteins: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2024. vol. 64. no. 9. pp. 2548–2578. doi: 10.1080/10408398.2022.2124399
- 16 García Arteaga V., Leeb E., Liu Y. et al. Enzymatic hydrolysis and fermentation of pea protein isolate and its effects on antigenic proteins, functional properties, and sensory profile. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 1. p. 118. doi: 10.3390/foods11010118
- 17 Tulbek M.C., Wang Y.L., Hounjet M. Pea—a sustainable vegetable protein crop. *Sustainable Protein Sources*. 2nd ed. Ed. by S.R. Nadathur, J.P.D. Wanasundara, L. Scanlin. Cambridge: Academic Press, 2024. pp. 143–162. doi: 10.1016/B978-0-323-91652-3.00027-7
- 18 Shanthakumar P., Klepacka J., Bains A. et al. The current situation of pea protein and its application in the food industry. *Molecules*. 2022. vol. 27. no. 16. p. 5354. doi: 10.3390/molecules27165354
- 19 David Troncoso F., Alberto Sánchez D., Luján Ferreira M. Production of plant proteases and new biotechnological applications: an updated review. *ChemistryOpen*. 2022. vol. 11. no. 3. p. e202200017. doi: 10.1002/open.202200017
- 20 Tiruneh A., Ptaszek P., Źmudziński D. et al. Peas (*Pisum sativum* subsp. *arvense* Asch) and Beans (*Vicia faba* var. *minor*) as Source of Quality Plant Proteins. *Molecules*. 2025. vol. 30. no. 9. p. 2009. doi: 10.3390/molecules30092009

Сведения об авторах

Павел С. Бикбулатов к.т.н., доцент, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, bikbulatovpavel@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1285-4797>

Наталья А. Панкратьева д.х.н., профессор, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, nata-pankratjeva@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9831-3635>

Ольга В. Чугунова к.э.н., инженер, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, chugun.ova@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

Людмила А. Донскова кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, cafedra@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8396-0431>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за plagiat

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Pavel S. Bikbulatov Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, food technology department, Ural State University of Economics, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, bikbulatovpavel@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1285-4797>

Natalia A. Pankratjeva Dr. Sci. (Chem.), professor, food technology department, Ural State University of Economics, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, nata-pankratjeva@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9831-3635>

Olga V. Chugunova Cand. Sci. (Econ.), engineer, food technology department, Ural State University of Economics, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, chugun.ova@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

Lyudmila A. Donskova food technology department, Ural State University of Economics, 8 Marta str./Narodnaya Volya, 62/45, Yekaterinburg, 620144, Russia, cafedra@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8396-0431>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/11/2025

После редакции 27/11/2025

Принята в печать 10/12/2025

Received 10/11/2025

Accepted in revised 27/11/2025

Accepted 10/12/2025